

UNIVERSITÉ DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU LANGUEDOC

Master : *Sciences et Technologies*

Mention : *Biologie, Géosciences, Agroressources, Environnement*

Spécialité : Ecologie Fonctionnelle et Développement Durable

Parcours : Fonctionnement des Ecosystèmes Naturels Et Cultivés

Contraintes pour l'enchaînement De deux cycles de riz irrigué par an Dans les zones de montagne du Nord du Vietnam

par Jennyfer MONTAGNE

Stage de M2

Réalisé sous la direction de François AFFHOLDER et Damien JOURDAIN

Agro.M-INRA, UMR System,

Fonctionnement et conduite des systèmes de culture tropicaux et méditerranéens,

Agrocampus Montpellier, 65 Route de Gignac, 34060 Montpellier Cedex



Soutenu les 11 et 12 juin 2008 à Montpellier

Jury permanent : Mireille CHARMANTIER (UM2-UMR EcoLag), Aurélie METAY (SupAgro-UMR SYSTEM), Nathalie FROMIN (CNRS-UMR CEFE), Benoît JAILLARD (INRA-UMR BSR)

Rapporteur : Roland POSS (IRD).

Résumé

Face à une forte pression démographique, et dans l'espoir de réduire la pression exercée par l'agriculture sur les versants des montagnes du Nord du pays, le gouvernement Vietnamien encourage la pratique de la double culture de riz irrigué dans les vallées des régions montagneuses. Malgré la mise à la disposition des agriculteurs de cultivars hybrides non photosensibles à cycles courts, la culture unique d'été reste dominante dans certaines zones. Une des hypothèses émise est que les températures froides de ces zones allongent la durée des cycles et rendent difficile leur enchaînement. L'objectif de cette étude est de déterminer dans quelle mesure, les durées de cycle de culture auxquelles parviennent les agriculteurs avec les cultivars disponibles et les itinéraires techniques employés, limitent les possibilités d'enchaîner deux cycles par an, selon les conditions de température. Pour cela, il a été créé un modèle simulant la durée des cycles de riz pour différentes situations climatiques représentatives des zones de montagne du Vietnam, combinées avec différents scénarios d'itinéraires techniques, renseignés à partir d'enquêtes réalisées sur le terrain. Les résultats de simulation ont confirmé que les agriculteurs étaient contraints par les cultivars disponibles et les itinéraires techniques pratiqués (date de semis et méthodes de culture) car il existe de nombreuses situations où les simulations ont montré l'impossibilité d'enchaîner deux cycles de culture. Ainsi, le moyen d'augmenter les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles pourrait être soit de réduire la durée des travaux entre ceux-ci soit de mettre à disposition des cultivars à cycle encore plus court.

Mots clés: riz irrigué, cycle cultural, phénologie, température froide, itinéraire technique.

Abstract

Because of high population pressure and in order to reduce the pressure caused by farmers on mountainsides, the Vietnamese government launched incentives to promote irrigated rice double cropping in the mountainous areas valleys. Despite the fact that authorities give to farmers non light-sensitive and short duration cultivars, rice double cropping is not widespread in all areas of northern Vietnam. One assumption is that, in these areas, low temperatures lengthen the duration of the rice cropping season and therefore hamper double cropping establishment. This study aims to identify how the duration of the cropping season, with the available cultivars and the cropping systems practiced by farmers, limits the opportunities to shift to double cropping depending on temperatures. A model to simulate the cropping season duration was created for different climatic scenarios representative of northern Vietnam areas and combined with different cropping system scenarios, informed by interviews. The results generated indicated that temperature had an influence on cropping season durations depending on locations and elevations. It was also shown that farmers were constrained by the available cultivars and the cropping systems they practice (sowing date, cultivation strategies) since the double cropping was not achievable for all simulations. Therefore, the way to increase the probability of success of double cropping was identified to be: either to grow cultivars that are growing faster than the current ones or to reduce the duration of activities between the two seasons.

Key words: irrigated rice, phenology, low temperature, cropping season, cropping system.

Table des abréviations

CH: Cultivar Chem Huong

CIRAD : Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CT : Constante Thermique

GPS : Global Positioning System

NOMAFSI : Institut des Sciences Agricoles et Forestières pour les Zones de Montagne du Nord du Vietnam

R : Cultures repiquées

SD : Cultures en semis direct

SQL : Structured Query Language

838 : Cultivar Nhi uu 838

°C.j⁻¹ : degrés jours

Introduction

Le riz (*Oryza sativa*) est planté sur 44% des surfaces cultivées du Vietnam et la culture de riz irrigué est décrite comme l'élément déterminant pour la sécurité alimentaire des familles (Pandey & Dang Van Minh, 1998).

En zones de montagnes, la culture de riz pluvial est aussi pratiquée, sur les pentes. Cependant, celle-ci génère des rendements bas (Husson et al., 2001) et ceux-ci ont tendances à fortement diminuer. En effet, en raison d'une forte pression démographique, les pentes sont surexploitées, érodées et deviennent de plus en plus improductives (Castella et al., 1999).

Le gouvernement du Vietnam a donc lancé plusieurs programmes afin de réduire la pauvreté et protéger l'environnement des régions de montagne du nord (Zingerli C. et al., 2002). Ces programmes se concentrent entre autre, sur l'intensification de la culture du riz irrigué au niveau des bas-fonds et des terrasses pour diminuer la pression sur les pentes qui sont considérées plus appropriées pour la foresterie (Castella et al., 2002). L'intensification de la culture du riz irrigué passe notamment par l'enchaînement de deux cycles de culture, c'est-à-dire la production de riz de printemps en plus du riz d'été.

Les rizières irriguées des zones de montagnes du nord du Vietnam se trouvent généralement le long de gradients d'altitude allant de 200 à 800 m. Selon la localité et l'altitude, elles sont donc soumises à des conditions de température très diverses.

D'après Hodges 1991, la température est le principal facteur qui régie le développement phénologique pour les cultivars non photosensibles. Ainsi, la durée entre la date de semis et la date de floraison se trouve rallongée avec une diminution des températures (Mahamood, 1997). Dans ces zones de montagnes, soumises à des températures froides, l'emploi de cultivars à cycle court est donc une nécessité afin de pouvoir enchaîner deux cycles de culture par an.

Depuis plusieurs années, le gouvernement Vietnamien fourni aux agriculteurs tous les intrants nécessaires à l'enchaînement de deux cycles de culture, c'est-à-dire des semences de cultivars hybrides à cycle court non photosensibles, des engrais ainsi que des formations techniques.

A ce jour, dans de nombreuses communes des régions du nord, les efforts du gouvernement pour promouvoir la double culture n'ont pas été couronnés de succès, sans que les causes ne soient clairement établies. Certains invoquent l'attachement des agriculteurs aux « traditions », mais d'autres émettent l'hypothèse de contraintes techniques et de l'inadaptation des cultivars disponibles aux températures froides des régions d'altitude.

L'objectif de cette étude est donc de déterminer dans quelle mesure, les durées de cycle de culture auxquelles parviennent les agriculteurs, avec les cultivars disponibles et les itinéraires techniques employés, limitent les possibilités d'enchaîner deux cycles de culture par an, selon les conditions de température. Cette étude est faite dans l'hypothèse où l'eau d'irrigation, les engrais et le rayonnement disponible ne seraient pas eux même des facteurs limitants de l'intensification.

Matériel et Méthodes

La méthodologie adoptée pour répondre aux objectifs de cette étude s'est composée en quatre principales étapes. Une première étape a été consacrée au calage d'un modèle de développement phénologique du riz pour les cultivars proposés comme les mieux adaptés à la double culture. Une seconde étape a porté sur la réalisation d'enquêtes afin d'identifier (1) les différents itinéraires techniques et (2) les contraintes techniques à l'enchaînement de deux cycles de culture. Une troisième étape correspondait à la construction de scénarios d'itinéraires techniques à partir de l'exploitation des résultats d'enquête et leur couplage avec le modèle de développement phénologique, afin de réaliser des scénarios de simulation. Finalement la dernière étape comportait la simulation même et le traitement des données.

Modèle du développement phénologique du riz

Un modèle simulant le développement phénologique du riz en réponse à la température a été créé. Il est adapté du modèle *Oryza 2000* (Bouman et al., 2001). Il repose sur l'équation du temps thermique :

$$\sum_{j=k+1}^n (f(T)) = CT(i).$$

Où la fonction (f) est définie ainsi :

si	$T < T_d \text{ min}$	alors	$f(T) = 0$
	$T_d \text{ min} < T < T_d \text{ max}$	alors	$f(T) = T - T_d \text{ min.}$
	$T_d \text{ max} > T$	alors	$f(T) = T_d \text{ max}$

Avec : k le jour où le stade phénologique (i-1) a été atteint, T la température moyenne de l'air du jour j en °C et CT la constante de temps thermique du stade i, en °C.j⁻¹. Td min est la température base de développement en dessous de laquelle le développement phénologique est nul et Td max est la température seuil au-delà de laquelle la vitesse de développement n'augmente plus. Les stades (i) considérés sont : (1) première talle visible, (2) floraison et (3) maturité.

De plus, pendant la phase « semis – floraison », le modèle simule la mort de la culture en cas d'exposition à une température moyenne journalière inférieure à 12°C pendant plus de trois jours consécutifs (Bouman et al., 2001).

Les entrées nécessaires à ce modèle sont donc (1) les données journalières de température maximum et minimum et (2) les caractéristiques des cultivars : température base (Td min), température seuil (Td max) et la constante thermique (CT) pour chaque stade phénologique (i).

Deux cultivars de riz, identifiés comme les mieux adaptés à l'enchaînement de deux cycles de culture, ont été retenus pour cette étude. De plus, ce sont les deux cultivars qui ont été distribués par le gouvernement au printemps 2008 dans la région étudiée. Il s'agit de NHI uu 838 et Chem Huong qui sont des hybrides, non photosensibles et à cycle court. Le cultivar Chem Huong est répandu dans ces régions car il résiste bien au froid. De plus il est apprécié pour son goût. Le cultivar NHI uu 838, quant à lui, est apprécié pour les rendements intéressants qu'il génère. Il est commun pour les cycles de printemps et d'été. Les constantes thermiques de ces cultivars étaient inconnues et constituaient donc des paramètres de calage du modèle à déterminer.

Le repiquage du riz provoque un stress qui ralentit le développement. Ce retard de développement dépend des conditions de repiquage et en particulier de l'âge des

plantules (Bouman et al. 2001). Notre modèle phénologique prend en compte l'effet du stress du repiquage sur le développement, au moyen de différentes CT pour différents âges des plantules. Ainsi, pour la détermination des constantes thermiques de la période « semis – floraison », nous avons estimé des CT différentes pour chaque âge des plantules au repiquage et pour chaque cultivar. Dans le cas du semis direct, une seule CT a été estimée pour chaque cultivar.

Le calage du modèle décrit précédemment a été réalisé grâce à un dispositif expérimental que nous avons mis en place dans la province de Yen Bai à environ 150 km au Nord de Hanoi. Dans cette province, la température moyenne annuelle est de 22°C. La saison des pluies dure généralement de mai à septembre et s'accompagne de températures chaudes. Cependant, les conditions de température et de pluviométrie sont très variables en fonction des localités (figure 1).

Le dispositif expérimental était constitué d'un réseau de parcelles de riz irrigué appartenant à des agriculteurs. Ce réseau couvrait quatre communes. Deux de ces communes étaient situées sur une vallée irriguée placée sur le versant ouest de la principale chaîne montagneuse de la province, tandis que les deux autres étaient situées sur son versant est. L'une de ces deux dernières était en outre située le long d'une pente, entre 300 et 800 m d'altitude, avec des rizières en terrasse. Ces conditions variées d'exposition et le gradient d'altitude visaient à obtenir des variations marquées de température dans notre dispositif

Il a été nécessaire d'ajouter aux parcelles gérées par les agriculteurs, des placettes d'étude de manière à ce que toute la gamme des variations de température soit appliquée aux deux méthodes de culture, combinées aux deux cultivars étudiés. Ces placettes étaient gérées par les agriculteurs suivant nos recommandations pour ces aspects du système de culture. Elles mesuraient environ 2 m² et ont subi les mêmes pratiques que les parcelles d'agriculteurs pour les autres aspects du système de culture, notamment en termes de préparation du sol, gestion de l'eau, désherbage et apports d'engrais (Tableau 1).

Sept thermomètres enregistreurs (Votcraft DL-120) ont été mis en place aux différents niveaux d'altitude et le plus près possibles des parcelles. Ils étaient disposés dans un endroit ventilé, contre un mur et caché dans un large tuyau plastique, lui-même bien ventilé, pour les protéger contre le vol. L'altitude et la situation précises des thermomètres et parcelles ont été déterminées à l'aide d'un altimètre et d'un GPS respectivement.

Deux observateurs, chacun responsable de deux communes, étaient chargés des suivis phénologiques. Les suivis comprenaient l'observation et la notation tous les 2 jours des stades phénologiques atteints pour chaque parcelle. Les stades phénologiques considérés étaient : semis, repiquage éventuel, début tallage, début d'élongation des tiges, épiaison et pleine floraison. Ils étaient identifiés grâce à la description des stades phénologiques BBCH (Meier, 2001). A chaque observation, les stades se voyaient attribuer une note de 1 à 5 selon leur état d'achèvement sur la placette: (1) aucune plante n'a atteint le stade considéré, (2) une minorité des plantes a atteint le stade considéré, (3) une faible majorité des plantes a atteint le stade considéré, (4) une minorité des plantes n'a pas atteint le stade considéré, (5) toutes les plantes ont atteint le stade considéré.

Les constantes thermiques pour tous les intervalles de stades considérés, les deux cultivars, les différents âges de plantules au repiquage et les deux méthodes de culture

considérées, ont été obtenues par ajustement des dates d'accomplissement simulées, sur le critère de la minimisation de la somme des carrés des écarts entre observation et simulation.

Enquêtes

Les enquêtes se sont principalement déroulées sur les quatre communes du dispositif expérimental. Elles étaient adressées aux agriculteurs et ont été réalisées à l'aide d'un interprète. L'échantillon d'enquête a été constitué dans le but d'avoir à la fois des agriculteurs ayant une expérience de la double culture de riz et des agriculteurs ne l'ayant pas pratiqué bien que disposant de ressources en eau suffisantes. Cependant, la sélection des répondants a été contrainte par leur disponibilité et leur connaissance de la langue Kinh, faute d'interprète de langue Hmong, Zao et Tai, ethnies auxquelles appartiennent les agriculteurs de la région.

Les enquêtes ont consistées en une brève introduction de l'exploitation, une discussion sur les raisons pour lesquelles un ou deux cycles de riz sont effectués et une description de l'itinéraire technique pratiqué sur les parcelles de riz irrigué. La connaissance des itinéraires techniques était nécessaire pour guider la construction des scénarios de simulations décrits dans la section suivante. Elles devaient notamment apporter les informations suivantes: (1) l'intervalle de dates de semis à considérer pour chaque site, (2) le nombre de jours moyens entre le semis et le repiquage, (3) le nombre de jours nécessaires pour les travaux de récolte et de préparation du sol entre les deux cycles de culture, (4) les différents âges des plantules lors du repiquage et (5) la date la plus tardive de maturité des cultures du cycle d'été qui n'entraîne pas de problèmes majeures liés au stress hydrique. En effet, en fin de saison d'été, les ressources en eau deviennent très limitantes dans les régions du nord du Vietnam et ne permettent pas d'achever le cycle de culture d'été.

Scénarios de simulation

Afin d'estimer les possibilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture par an, différents scénarios de simulations ont été créés avec les principaux facteurs de variabilité de la durée des cycles de culture dans les zones de montagne. Le résultat d'une simulation devait donc comprendre la date simulée de maturité du cycle de printemps et celle du cycle d'été, dans le cas où il n'y a pas eu mort des cultures causée par le froid.

Chaque scénario de simulation a été construit afin de combiner (1) une situation climatique caractérisée par les facteurs: localité, année, et altitude et (2) un scénario d'itinéraire technique caractérisé par les facteurs: date de semis, cultivar, âge des plantules au repiquage et méthode de culture pour le cycle de printemps et celui d'été. Tous les scénarios d'itinéraires techniques étaient établis avec l'hypothèse d'apports non limitants en eau et en engrais ainsi qu'avec l'hypothèse d'un contrôle efficace des adventices, ravageurs et maladies.

Les facteurs localité, année et altitude permettaient de simuler la variabilité de la température dans ces zones de montagne. Nous avons retenu trois localités du nord du Vietnam où l'on disposait de séries historiques de données climatiques de qualité grâce à la présence d'une station météorologique du réseau national Vietnamien et aux normes de

l'organisation Mondiale de Météorologie (tableau 2). Pour ces stations, les températures maximales et minimales journalières étaient disponibles pour 15 années au moins.

Un gradient d'altitude allant de 0 à 1000 m (tous les 200 m) a été considéré pour chaque station météorologique. En effet, les stations étant généralement placées en bas-fond, il était nécessaire de pouvoir considérer les cas où les rizières se situent plus en hauteur sur des terrasses aménagées sur les versants. Les températures T de chaque altitude z , considérée ont été estimées à partir des températures T_0 de chaque station météorologique d'altitude connue z_0 selon l'équation :

$$T_z = T_0 - 0.6 (z - z_0) / 100 \text{ (Baker, 1944).}$$

Les différents scénarios d'itinéraires techniques se distinguaient par les facteurs : (1) intervalles de dates de semis du cycle de printemps, avec des modalités espacées de 10 jours, (2) cultivar, avec les modalités Chem Huong et Nhi uu 838, (3) méthode de culture avec les modalités semis direct (SD) et repiquage (R) et (4) âge des plantules lors du repiquage. Les facteurs (1) et (4) avaient été déterminés lors des enquêtes.

De plus, pour le cycle de printemps, chaque scénario d'itinéraire technique a été divisé en deux sous scénarios : avec re-semis et sans re-semis dans le cas de mort de la culture causée par le froid. Ces sous scénarios permettaient de distinguer deux situations : une situation où les semis sont effectués à des dates où le risque d'avoir à ressemer est élevé, et une situation où il n'y a plus le risque d'avoir à ressemer mais où la probabilité de retarder le semis d'été, et donc de ne pas pouvoir achever le cycle d'été à cause du manque d'eau, est forte.

Pour tous ces scénarios, les dates de semis du cycle d'été étaient fixées selon l'équation suivante :

$$D_{Se} = D_{Mp} + t_{mc} - t_{SR}$$

Avec D_{Se} : date de semis d'été, D_{Mp} : date de maturité du cycle de printemps, t_{mc} : intervalle de temps nécessaire pour la mise en culture d'une parcelle après maturité du cycle de printemps et t_{SR} : intervalle de temps entre le semis de la pépinière et l'âge des plantules retenu pour le repiquage. (La valeur de t_{SR} était de 0 dans le cas où le cycle de printemps était suivi d'un cycle d'été conduit en semis direct).

Simulation et traitement des données

Finalement, tous les scénarios ont été simulés à partir de toutes les combinaisons possibles de facteurs, c'est-à-dire : 3 localités, 15 années, 6 altitudes, 11 dates de semis de printemps, 2 cultivars, l'âge des plantules au repiquage, le choix du re-semis ou pas pour le cycle de printemps et 4 combinaisons de méthodes de culture (Semis direct/repiquage, semis direct/semis direct, repiquage/semis direct, repiquage/repiquage).

Pour cela, un générateur de scénarios et un simulateur ont été conçus sous Microsoft Access, en langages Visual Basic et SQL. Le générateur de scénarios était constitué (1) de tables de données, contenant les données propres à chaque modalité testée de chaque facteur considéré dans les simulations et (2) de requêtes SQL permettant de créer automatiquement la combinatoire des données, correspondant aux jeux de paramètres d'entrée du simulateur pour chacun des scénarios étudiés. Le simulateur comprenait plusieurs routines dont : le modèle phénologique décrit précédemment, l'équation de correction de la température en fonction de l'altitude et les

conditions de mort de la culture par le froid. Il se composait aussi de routines de lecture et d'écriture des données dans les bases de données ainsi que de routines de calcul de la réussite ou non de la double saison et de calcul de déclenchement du re-semis en cas de mort de la culture à cause du froid.

En regroupant les résultats de simulation par années, les probabilités de réussite sur 10 années de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué ont été établies. Pour chaque cas, il y avait réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué si deux conditions étaient respectées : (1) s'il n'y avait pas mort des plantules causée par le froid et (2) si la date de maturité du riz d'été se situait avant la date limite, établie lors des enquêtes, au-delà de laquelle le manque d'eau au niveau des parcelles cause l'échec du cycle. Il était donc possible d'assurer qu'il y avait échec de la culture lors du cycle d'été lorsque les résultats de simulations donnaient une date supérieure à celle-ci. En revanche, il n'était pas possible d'assurer qu'il n'y avait pas échec de la culture d'été pour des dates de semis antérieure à cette date limite. Ainsi, les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture pouvaient être surestimées mais jamais sous-estimées.

Résultats

Calage du modèle du développement phénologique du riz

Seule la CT entre le semis et le stade « première talle visible » ont été disponibles à ce jour en raison du froid qui a retardé la mise en place du dispositif. En effet, le mois de février 2008 a été particulièrement froid et a entraîné la mort de nombreuses pépinières sur les sites de notre dispositif expérimental. Ainsi, de nombreux agriculteurs ont dû attendre plusieurs semaines avant de ressemer, ce qui a considérablement retardé le début des observations. Les CT pour l'intervalle entre les stades « première talle visible – floraison » ont été déterminées sachant que cet intervalle occupe généralement 3/4 de la durée totale entre le semis et la floraison (communication personnelle, M. Quang). Pour les CT de l'intervalle entre les stades « floraison – maturité », il a été montré que les durées ne variaient pas entre cultivar et atteignaient généralement un mois (Gao et al. 1987).

Pour l'intervalle entre le semis et l'apparition de la première talle, les constantes thermiques obtenues étaient supérieures pour les cultivars repiqués par rapport à ceux en semis direct (Tableau 3). De plus, pour ce même intervalle, la constante thermique du cultivar Nhi uu 838 était supérieure à celle du cultivar Chem Huong. Les valeurs des coefficients de corrélations pour les cultivars en semis direct étaient peu élevées, respectivement 0.3421 et 0.3572 pour Nhi uu 838 et Chem Huong. Les coefficients de corrélations étaient meilleurs pour le cas du repiquage (respectivement 0.5140 et 0.7490 pour Nhi uu 838 et Chem Huong).

Enquêtes

Les enquêtes ont été réalisées auprès de 24 agriculteurs. Elles ont permis de déterminer les données nécessaires à certains paramètres des scénarios de simulation. Les estimations faites à partir des résultats obtenus sont les suivantes : (1) les intervalles

pertinents de dates de semis de printemps sont compris entre les jours de l'année 5 et 105, (2) Entre deux cycles de culture, les agriculteurs nécessitent du temps pour les activités de récolte, battage, transport du riz ainsi que pour la préparation du sol (labour et herse). Le temps moyen que prennent ces différents travaux entre deux cycles de culture s'élève à 15 jours, (3) la date de récolte d'été limite pour s'assurer de ne pas risquer un échec du cycle d'été se situe à la fin du mois de novembre (jour 335 de l'année), (4) l'âge des plantules lors du repiquage ne varie pas. Le repiquage s'effectue toujours quand les plantules atteignent 30 jours environ. Cette durée est respectée par tous les agriculteurs car elle correspond à un compromis entre un âge où le stress de repiquage n'est pas encore très élevé et un âge où les plantules ont atteint une taille suffisamment haute pour que la gestion des lames d'eau de la parcelle ne soit pas trop délicate.

Les enquêtes menées ont aussi permis d'identifier, à l'échelle du territoire du village, une contrainte à l'adoption de la culture du riz au cycle de printemps par les agriculteurs. Il s'agit des dégâts que causent les animaux tels que buffles, oiseaux et rats sur les parcelles cultivées. En effet, comme peu de surfaces sont cultivées au printemps notamment en raison des limitations en eau, les ravageurs et buffles se concentrent sur les parcelles cultivées. Pour le cycle d'été, les buffles sont surveillés mais au printemps ceux-ci sont laissés vacants et causent d'importants dégâts au niveau des pépinières et des parcelles. Certains agriculteurs construisent des barrières pour protéger leurs parcelles mais cette solution demande beaucoup de travail et, est peu envisageable sur de grandes surfaces.

Simulation des scénarios pour le cycle de printemps

La simulation des dates de maturité du riz au cycle de printemps a permis d'estimer la durée du cycle de printemps connaissant les dates de semis. La figure 2 indique que, pour une altitude donnée, la durée simulée était peu variable entre cultivars mais davantage en fonction de la station et de la méthode de culture. En effet, les durées simulées du cycle de printemps étaient toujours plus courtes pour des cultures en semis direct que pour des cultures repiquées. D'autre part, pour la station de Phuho (K211), les durées simulées du cycle de printemps étaient toujours plus longues que pour les stations de Sonla (K221) et de Mucangchai (K292) quelle que soit la méthode de culture.

Dans la suite de la présentation des résultats, nous n'avons retenu que la combinaison de cultivars suivante : le cultivar Chem Huong pour le cycle de printemps suivi du cultivar Nhi uu 838 pour le cycle d'été. Comme aucune différence n'était observée entre ces cultivars, les observations faites pour une combinaison de cultivars étaient aussi valable pour les autres combinaisons. En revanche, nous avons conservé les deux modalités de culture, dans la mesure où le choix de l'une ou de l'autre dépend de facteurs tels que la maîtrise de la lame d'eau qu'ont les agriculteurs dans les rizières en début de cycle.

De façon générale, la durée simulée du cycle de printemps diminuait avec des dates de semis plus tardives et des altitudes plus faibles (Figure 3). Pour les deux stations, les durées du cycle de printemps simulées étaient plus longues dans le cas du repiquage que dans le cas du semis direct. De plus, les durées simulées du cycle de printemps variaient plus pour des semis précoces. Plus les semis étaient tardifs, plus cette variation avait

tendance à diminuer. Les variations observées pour chaque date de semis s'expliquaient par les différences d'altitudes ainsi que par la variabilité climatique interannuelle. Ainsi, pour les dates de semis tardives l'altitude et les variabilités climatiques interannuelles influençaient moins la durée du cycle de printemps.

Les durées simulées du cycle de printemps variaient aussi avec la station. Quelle que soit l'altitude et la méthode de culture, la station de Phuho présentait des durées du cycle de printemps supérieures. Dans le cas du repiquage, celles-ci allaient de 115 à 250 jours et 115 à 228 jours respectivement pour les stations de Phuho et de Mucangchai. De plus, la variabilité interannuelle de la station de Mucangchai était supérieure à celle de Phuho notamment pour des dates de semis précoces.

Dans tous les cas, pour une même station et une même date de semis, les variations dues aux années qui étaient représentées par le même figuré sur la figure 3 étaient inférieures aux variations dues à l'altitude.

Simulation des scénarios complets

D'après la figure 4, à une altitude de 400 m, et pour les dates de semis de 5 à 75, la combinaison donnant la probabilité de réussite la plus élevée était toujours CHSD-838R. Cette probabilité était de 10 années/10 pour les dates de semis de 5 à 55 puis elle diminuait avec des dates de semis plus tardives. La seconde combinaison la plus avantageuse pour réussir l'enchaînement de deux cycles de cultures était CHR-838R qui donnait des probabilités de réussite supérieures à 8 années/10 pour des dates de semis de printemps de 5 à 45. Les autres combinaisons donnaient des probabilités de réussite inférieure. De plus, ces tendances étaient les mêmes pour les autres stations et à des altitudes différentes (données non présentées).

Ainsi, ce sont les deux combinaisons CHSD-838R et CHR-838R, donnant les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures les plus élevées, qui ont été retenues pour la suite des résultats. De cette façon, l'échec de l'enchaînement de deux cycles de culture pour ces combinaisons revenait aussi à déduire l'échec pour les autres combinaisons.

Pour chaque ensemble de station, altitude et méthode de culture, la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture de riz irrigué diminuait avec des dates de semis de printemps plus tardives (figure 5). De plus, pour une station, une date de semis et une méthode de culture données, cette probabilité diminuait aussi avec l'augmentation de l'altitude.

Les probabilités de réussite de la combinaison CHSD-838R étaient toujours supérieures ou égales à celles obtenues avec la combinaison CHR-838R quelles que soient la station, l'altitude et la date de semis. De plus, les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture de riz irrigué étaient beaucoup plus limitées par la date de semis et l'altitude pour la station de Phuho que pour la station de Mucangchai à altitude identique. Pour la combinaison CHSD-838R à 400m d'altitude et pour des dates de semis allant de 5 à 65, la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture de riz irrigué était inférieure à 3 années/10 pour la station de Phuho alors que celle-ci était supérieure à 8 années/10 pour la station de Mucangchai.

La figure 6 illustre le risque d'avoir à ressemer ou non lors du cycle de printemps, selon les dates de semis et l'altitude, pour la station de Phuho. Pour les dates de semis

précoces (ici de 5 à 35), la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué était toujours plus faible si l'agriculteur ne resème pas quelle que soit l'altitude. En revanche, après la date de semis de printemps de 45, 55 et 65 respectivement pour les altitudes 400 m, 200 m et 0 m, les probabilités étaient les mêmes pour les cas avec et sans re-semis. Pour la station de Phuho, le risque d'avoir à ressemer était donc élevé pour des dates de semis de printemps précoces.

La figure 7 compare les deux combinaisons de méthodes de culture pour des cas avec ou sans re-semis suite à la mort des plants causée par le froid, à 400m d'altitude. Pour des dates de semis précoce, la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué était supérieure pour les cas où l'agriculteur resème, quelle que soit la méthode de culture employée. En revanche, après une date de semis de printemps de 5, 45 et 45 respectivement pour les stations de Phuho, Sonla et Mucangchai, la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué était supérieure pour la méthode de culture CHSD-838R qu'il y ait re-semis ou pas.

De façon générale, les différences de probabilités étaient prononcées entre la station K211 et les deux autres stations. A 400m d'altitude, la station K211 ne présentait aucune probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué supérieure à 4 années/10 alors que les stations K221 et K292 avaient des probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué supérieure à 8 années/10 pour des dates de semis de printemps de 25, 35 et 45.

La figure 7 ainsi que des figures non présentées, ont permis de construire le tableau 4. Pour chaque station, les intervalles de semis optimaux diminuaient avec l'altitude et étaient plus restreints pour les cas sans re-semis que pour les cas avec re-semis (tableau 4). Ils étaient aussi généralement plus restreints pour la station de Phuho que pour les autres. De plus, pour la station de Phuho, seule l'altitude 0 donnait des probabilités de réussite supérieures à 5 années/10 alors que pour les stations de Sonla et Mucangchai, les probabilités étaient supérieures à 5 années/10 pour les altitudes 0 et 400m. A 800m d'altitude, quel que soit la station, l'intervalle de date de semis optimal est très restreint et dans tous les cas, les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué étaient inférieures à 5 années/10.

Discussion

Calage du modèle du développement phénologique du riz

La détermination des CT (tableau 2) a été sujette à des approximations dues en partie aux aléas du dispositif expérimental en parcelles d'agriculteurs. Le retard du début du cycle de printemps occasionné par le froid exceptionnel du mois de février, et les contraintes de calendrier de ce travail nous ont interdit le calage de la constante thermique la plus appropriée à cette étude. En effet, initialement, il était prévu de déterminer la CT de l'intervalle « semis – floraison », qui est la constante qui varie le plus entre cultivars (Gao et al., 1987). L'alternative que nous avons retenue, à savoir caler uniquement la constante de l'intervalle « semis - première talle visible » et estimer les autres, a conduit à des imprécisions. Ce sont ces imprécisions pour l'intervalle « semis- première talle visible » qui pourraient expliquer pourquoi les coefficients de corrélations sont faibles. Le modèle phénologique que nous avons retenu a été validé dans de très nombreuses études (Yin et

al. 1995). Ainsi, ce n'est sans doute pas la validité du modèle utilisé qui est à mettre en cause pour expliquer ces faibles coefficients de corrélations. L'application de ce modèle nécessite cependant de respecter les hypothèses d'absence de stress hydriques ou nutritifs. En effet, les facteurs comme l'apport d'engrais azotés, les stress hydriques et la densité de culture peuvent influencer le développement du riz (Lilley et Fukai, 1994). Dans la limite du possible, ces facteurs ont été contrôlés dans notre dispositif expérimental. Les parcelles de suivis des stades phénologiques n'ont subies aucun stress hydrique et ont reçu des apports d'engrais suffisants.

En revanche, l'observation de l'accomplissement du stade « première talle visible » était assez délicate et c'est cette difficulté qui pourrait être à l'origine des faibles coefficients de corrélations. De plus, l'âge des plantules lors du repiquage influence aussi le taux de développement suite à celui-ci. Joseph 1991, a montré que des plantules semées avec 20 jours de plus que les autres entraînent un retard de la floraison d'environ 7 jours. Pour la majorité des parcelles de notre dispositif expérimental, les plantules de Nhi uu 838 repiquées étaient assez hautes, au stade 4 à 5 feuilles étalées alors que les plantules de Chem Huong étaient au stade 2 à 3 feuilles étalées. Cet aspect âge des plantules, pourrait aussi être à l'origine des imprécisions observées précédemment.

D'autre part, les constantes thermiques identifiées ont pu être surestimées. En effet, lors du cycle de printemps, les pépinières sont cultivées sous tunnels plastiques afin de les protéger du froid. Ainsi, la température de l'air mesurée à l'extérieur des tunnels est sous-estimée par rapport à la température réelle des tunnels. D'après Sipaseuth et al., 2007, la température minimale moyenne sous les tunnels est généralement de 3 à 4°C supérieure à la température extérieure et celle-ci ne descend jamais en dessous d'une certaine valeur.

De plus, pour les stades juvéniles du riz irrigué, le méristème, qui est l'organe senseur de la température se trouve généralement sous l'eau. C'est donc la température de l'eau plus que la température de l'air qui influence le taux de développement du riz en début de cycle (Fukai, 1999, Shimono et al., 2007).

Cependant, de façon générale, les CT obtenues sont assez proches de celles que l'on pourrait estimer par la littérature (Buresh et al., 2006). Elles fournissent des résultats de simulation convenables pour le niveau de précision du modèle et comparables à des situations observées sur le terrain.

Scénarios de simulation

Les résultats des scénarios de simulation ont permis d'observer l'influence de la température (facteurs localité et altitude) sur les possibilités d'enchaînement de deux cycles de cultures par an.

Tout d'abord, le facteur altitude apparaissait comme déterminant pour la réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures par an. Le tableau 4 suggère qu'il n'est jamais envisageable d'enchaîner deux cycles de culture par an à une altitude de 800 m et a fortiori au-delà. De plus, pour des altitudes supérieures à 600m, aucun scénario de simulation n'a fourni une situation où la probabilité d'enchaîner deux cycles de culture par an était supérieure ou égale à 8 années/10.

Le facteur localité avait aussi une influence. Il a été observé des différences prononcées entre les stations de Phuho et Mucangchai pour la même altitude et pour le

même scénario d'itinéraire technique. Les figures 2 et 3 illustrent des durées de cycle de printemps supérieures pour la station de Phuho que pour celle de Mucangchai. D'après la figure 5, les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures par an pour la combinaison CHR-838R étaient supérieures ou égales à 8 années/10 pour des altitudes allant de 0 à 400 m pour la station de Mucangchai et celles-ci étaient de 8 années/10 seulement pour des altitudes de 0 m pour la station de Phuho.

Ainsi, selon les différentes situations climatiques rencontrées dans les zones de montagne du Vietnam, les durées de cycles de printemps et d'été auxquelles parvenaient les agriculteurs ne permettaient pas toujours d'enchaîner deux cycles de culture par an.

Cependant, les probabilités de réussite ont pu être un peu biaisées par le modèle. En effet, le modèle simule la mort du riz quand surviennent trois jours consécutifs avec une température inférieure à 12°C. Ces conditions semblent un peu sévères par rapport aux observations faites sur le terrain et aux suggestions de Sipaseuth et *al.*, 2007. De plus, le modèle ne prend pas en compte le cas du repiquage où les pépinières sont sous tunnels plastiques et donc à une température supérieure à la température extérieure. Et, selon Farrell et *al.*, 2006, les cultivars peuvent présenter une sensibilité différente au froid. Il faudrait donc paramétrer le modèle en fonction du cultivar.

La méthode de culture la plus avantageuse identifiée par le modèle était le semis direct au printemps et le repiquage en été. Ce résultat concordait assez bien avec les conclusions d'autres auteurs. Selon Fukai 1999, le semis direct permettait de réduire la durée entre le semis et la floraison du cycle de printemps car les plantules ne sont pas soumises au choc dû au repiquage. Néanmoins, s'il s'agissait de faire un choix, il faudrait préciser que le modèle ne prend pas en compte certains paramètres. Pour des altitudes hautes, le repiquage est un moyen de protéger les jeunes plantules contre le froid sous les tunnels plastiques (Pandey et *al.*, 2002). Pour mieux tenir compte des avantages relatifs du repiquage et du semis direct, il faudrait pouvoir simuler les effets du tunnel plastique sur le développement de la pépinière ainsi que le stress de repiquage en fonction de l'âge des plantules. De plus, la méthode du semis direct présente plusieurs inconvénients par rapport au repiquage. Lorsque le semis direct est effectué à la volée, ce qui est généralement le cas au Vietnam, il rend plus difficile le désherbage manuel ou mécanique et l'application d'engrais du fait de l'hétérogénéité de la disposition des plants dans la parcelle. En pratique, il suppose le recours aux herbicides (Pandey et *al.*, 2002). Enfin, le semis direct exige un contrôle très fin de la lame d'eau pendant les stades juvéniles, afin d'éviter l'asphyxie des jeunes plants tout en maintenant une lame d'eau suffisante pour limiter la croissance des mauvaises herbes.

Les résultats issus de la figure 3 étaient ceux attendus : les durées du cycle de printemps étaient plus longues et variaient plus en fonction des années pour des semis précoces quelles que soient les stations et les altitudes. En effet, les conditions de température sont plus incertaines et plus froides en début de saison (Sipaseuth et *al.*, 2007). Ainsi, pour des dates de semis précoces, les probabilités de réussites sans possibilité de re-semis étaient toujours plus faibles à celles avec re-semis possible quelle que soit la combinaison de méthode de culture et l'altitude (figure 7).

En revanche, pour des dates de semis tardives, c'était la méthode de culture avec du semis direct au printemps qui était la plus déterminante. En effet, tard dans la saison, la température était beaucoup moins contraignante mais il fallait employer une stratégie de gain de temps pour ne pas trop retarder le cycle d'été.

Les dates de semis optimales déterminées pour différentes méthodes de culture, ne permettaient pas d'obtenir des probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de culture supérieures à 8 années/10, pour toutes les localités et altitudes. Ainsi, les résultats de simulations suggéraient que les agriculteurs des zones de montagne du nord du Vietnam se trouvaient limités par les itinéraires techniques pratiqués. En effet, les cultivars disponibles, les dates de semis de printemps et méthodes de culture pratiquées ainsi que le temps nécessaire entre deux cycles de culture ne permettaient pas d'enchaîner deux cycles de culture par an, dans toutes les situations de localités et d'altitude du modèle.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de déterminer dans quelle mesure, les durées de cycle de culture auxquelles parviennent les agriculteurs avec les cultivars disponibles et les itinéraires techniques employés, limitent les possibilités d'enchaîner deux cycles de culture par an, selon les conditions de température.

L'influence de la température sur la durée des cycles culturaux a été observée en faisant varier les facteurs altitudes et localités du modèle. Les résultats de simulation obtenus montrent que ces facteurs peuvent effectivement être contraignants à l'enchaînement de deux cycles. Selon les stations, les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures par an étaient très variables mais, à 800 m d'altitude, aucun résultat de simulation n'a permis de conclure la réussite de l'enchaînement de deux cycles.

Les résultats de simulation ont aussi mis en valeur des contraintes liées à l'itinéraire technique pratiqué. Plus les dates de semis étaient précoces, plus les probabilités de mort de la culture causée par le froid étaient élevées si les pépinières ne sont pas sous tunnels plastiques. En revanche, le risque d'échec de l'enchaînement de deux cycles de culture augmentait quand les dates de semis devenaient plus tardives. Il est donc possible d'établir un intervalle de date de semis de printemps optimal pour limiter ces risques. La méthode de culture employée (semis direct ou repiquage) et les différentes combinaisons possible pour le cycle de printemps et d'été ont aussi été identifiées comme un facteur qui peut influencer sur les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles. Ce sont les simulations avec la combinaison du cultivar Chem Huong en semis direct au printemps et du cultivar Nhi uu 838 repiqué qui ont donné les probabilités de réussite de l'enchaînement de deux cycles les plus avantageuses.

Les résultats de simulation ont été obtenus à partir de constantes thermiques très approximatives mais montrent clairement que les cultivars disponibles ne sont pas suffisamment précoces pour permettre l'extension de la double culture à travers toute la région montagneuse du Vietnam. Nos résultats indiquent aussi que dans une certaine mesure, des améliorations des itinéraires techniques visant à réduire l'intervalle de temps nécessaire aux agriculteurs entre maturité du cycle de printemps et semis ou repiquage du cycle suivant, seraient susceptibles d'augmenter les probabilités d'enchaînement de deux cycles avec les cultivars actuellement disponible.

La plate forme d'analyse que nous avons mise au point, et les résultats qu'elle nous a permis d'obtenir en première approximation peuvent contribuer à identifier les zones où des améliorations des itinéraires techniques seraient nécessaires, et celles où de

nouveaux cultivars seraient indispensables. Cette plateforme d'analyse est prête à être réutilisée dès que les données de date de floraison observées dans notre dispositif nous parviendront, rendant possible le calage de la CT de l'intervalle « semis – floraison », que nous espérons plus précis que celui que nous avons effectué sur la CT « semis - première talle visible ».

Dans un second temps, sous réserve d'obtenir les données expérimentales nécessaires, le simulateur de cette plate forme mériterait d'être amélioré pour calculer en particulier la production potentielle de grain que l'on peut obtenir selon le rayonnement disponible, de manière à mieux prendre en compte l'interaction entre la durée des cycles culturaux et la conversion du rayonnement en biomasse.

Remerciements

Je tiens à remercier mes encadrants, François Affholder et Damien Jourdain du CIRAD Vietnam qui m'a accueillie, ainsi que toute l'équipe vietnamienne du NOMAFSI et particulièrement M. Quang, Linh, Mai et Thao.

Bibliographie

- Baker F.S. 1944. Mountain climates of the western United States. *Ecological Monographs*, 14, 223–254.
- Bouman B.A.M., Kropff F.J., Tuong T.P., Wopereis M.C.S., ten Berge H.F.M., Van Laar H.H. 2001. *Oryza 2000: Modelling lowland rice. IRRI Edition, Los banos, Philippines, pp 20-45.*
- Buresh R.J., Pampolino M.F., Samson M.I., Witt C. 2006. Opportunities for increasing efficiency of N, P, and K management for rice. *International Rice Congress 2006, New Delhi, India.*
- Castella J.C., Husson, O., Doanh, L.Q., Tuan, H.D. 1999. Implementing the ecoregional approach in the Red River bassin uplands (Vietnam). Mountain Agricultural Systems (SAM) Project. *In: Towards an Ecoregional Approach for Natural Resource Management in the Red River Basin of Vietnam .The Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam, pp 75-94.*
- Castella J.C., Boissau S., Nguyen H. T. Novosad P. 2002. Impact of forestland allocation on agriculture and natural resources management in Bac Kan Province, Viet Nam. *In: Doi Moi in the Mountains. Land Use Changes and Farmers' Livelihood Strategies in Bac Kan Province, Viet Nam. The Agricultural Publishing House, Ha Noi, Viet Nam, pp 197 - 220.*
- Farrell T.C., Fox K.M., Williams R.L., Fukai S. 2006. Genotypic variation for cold tolerance during reproductive development in rice: Screening with cold air and cold water. *Field Crops Research*, 98, 178–194.
- Fukai S. 1999. Phenology in rainfed lowland rice. *Field Crops Research*, 64, 51-60.
- Gao L.Z., Jin Z.Q., LI L. 1987. Photo-thermal models of rice growth duration for various varietal types in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 39, 205-213.
- Hodges T. 1991. Temperature and water stress effects on phenology. *In: Predicting crop phenology. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 7-13.*
- Husson O., Castella J.C., Ha Dinh Tuan, Naudin K. 2001. Agronomic diagnosis and identification of factors limiting upland rice yield in mountainous areas of northern Vietnam. *SAM Paper Series 2, VASI, Hanoi, Vietnam.*
- Joseph K.1991. Performance of rice varieties as influenced by the age of seedlings and delayed transplanting. *Indian Journal of agronomy*, 36, 83-86.

- Lilley J. M., Fukai S. 1994. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars III. Phenological development, crop growth and grain yield. *Field Crops Research*, 37, 225-234.
- Mahmood R. 1997. Impacts of air temperature variations on the boro rice phenology in Bangladesh: implications for irrigation requirements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 84, 233-247.
- Meier U. 2001. Stades phénologiques des mono-et dicotylédones cultivées, BBCH Monographie. *Centre Fédéral de Recherches Biologiques pour l'Agriculture et les Forêts*, 2eme édition.
- Pandey S., Dang Van Minh. 1998. A socio-economic analysis of rice production systems in the uplands of northern Vietnam. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 70, 249-258.
- Pandey S., Mortimer M., Wade L., Tuong T.P., Lopez K., Hardy B. 2002. *Direct seeding: research strategies and opportunities*. IRRI, Los Banos, Laguna (Philippines), 383p.
- Shimono H., Okada M., Kanda E., Arakawa I. 2007. Low temperature-induced sterility in rice: Evidence for the effects of temperature before panicle initiation. *Field Crops Research*, 101, 221–231.
- Sipaseuth, Basnayake J., Fukai S., Farrell T.C., Senthonghae M., Sengkeo, Phamixay S., Linqvist B., Chanphengsay M. 2007. Opportunities to increasing dry season rice productivity in low temperature affected areas. *Field Crops Research*, 102, 87–97.
- Yin X., Kropff M.J., MacLaren G., Visperas R.M. 1995. A non linear model for crop development as function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77, 1-16.
- Zingerli C., Castella J.C., Pham Hung Manh, Pham Van Cu. 2002. Contesting policies: Rural development versus biodiversity conservation in the Ba Be National Park Area, Viet Nam. In: *Doi Moi in the Mountains. Land Use Changes and Farmers' Livelihood Strategies in Bac Kan Province, Viet Nam*. The Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam, pp 249 - 275.

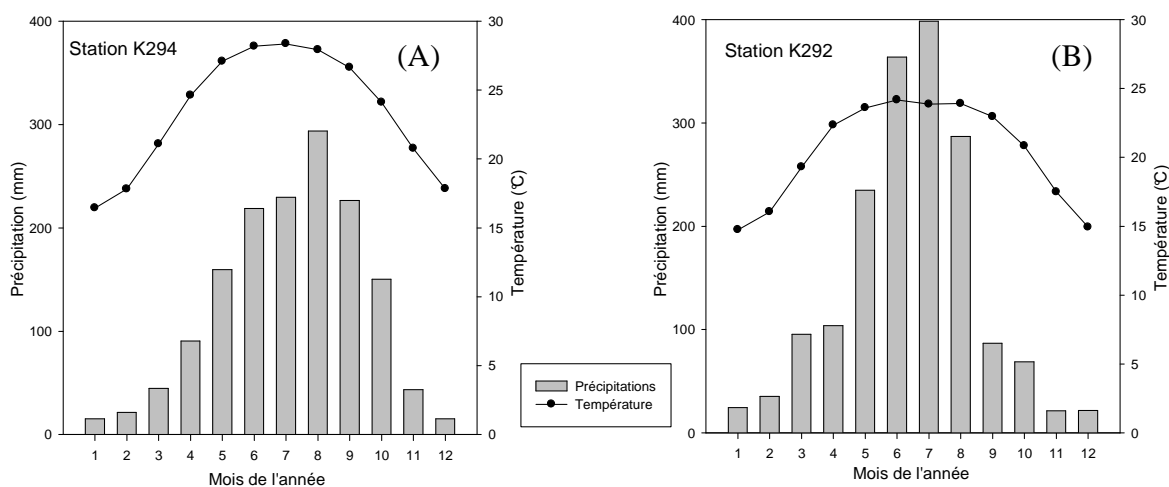


Figure1: Données climatiques moyennes de stations météorologiques de deux localités de la province de Yen Bai. La station (A) : Van Chan, district de Van Chan à 257m d'altitude et la station (B) : Mucangchai à 957m d'altitude.

Tableau 1 : Nombre de parcelles du dispositif expérimental pour chaque modalité.

Com. : communes, Therm : Numéro du thermomètre, Alt. : Altitude PE : Parcelles d'étude, PA : Parcelles d'agriculteur. Et, TL : commune de Tulé, NB : commune de Nam Bung, SG : commune de Suoi Giang et ST : commune de Son Thinh

Com.	Therm.	Alt. (m)	Nhi uu 838 Repiqué		Chem Huong Repiqué		Nhi uu 838 Semi-direct		Chem Huong Semi-direct	
			PE	PA	PE	PA	PE	PA	PE	PA
ST	1	300	3		3		3		3	
TL	2	645		2	1		2			2
NB	3	720	2	2	3	1	4		4	
SG	6	802	1		1		1		1	
SG	7	721	1	1	1		1		1	
SG	8	773	1	1	1		1		1	
SG	9	653	1	1	1		1		1	

Tableau 2 : Situation géographique des stations météorologiques dont les données climatiques ont été utilisées.

N° Station	Localité	Province	Altitude (m)	Latitude	Longitude
K211	Phuho	Phuto	36	21.450	105.230
K221	Sonla	Sonla	676	21.333	103.900
K292	Mucangchai	Yenbai	975	21.083	104.833

Tableau 3 : Valeurs des Constantes Thermiques. Entre parenthèse : valeur du R^2 : coefficient de corrélation. Les valeurs des lignes avec une étoile ont été estimées par la littérature.

	Nhi uu 838 Repiqué	Nhi uu 838 Semis direct	ChemHuong Repiqué	ChemHuong Semis direct
Semis -1ère talle	494 (0.5140)	291 (0.3421)	460 (0.7490)	305 (0.3572)
1ère talle – Floraison *	1530	1530	1460	1460
Floraison – Maturité *	600	600	600	600

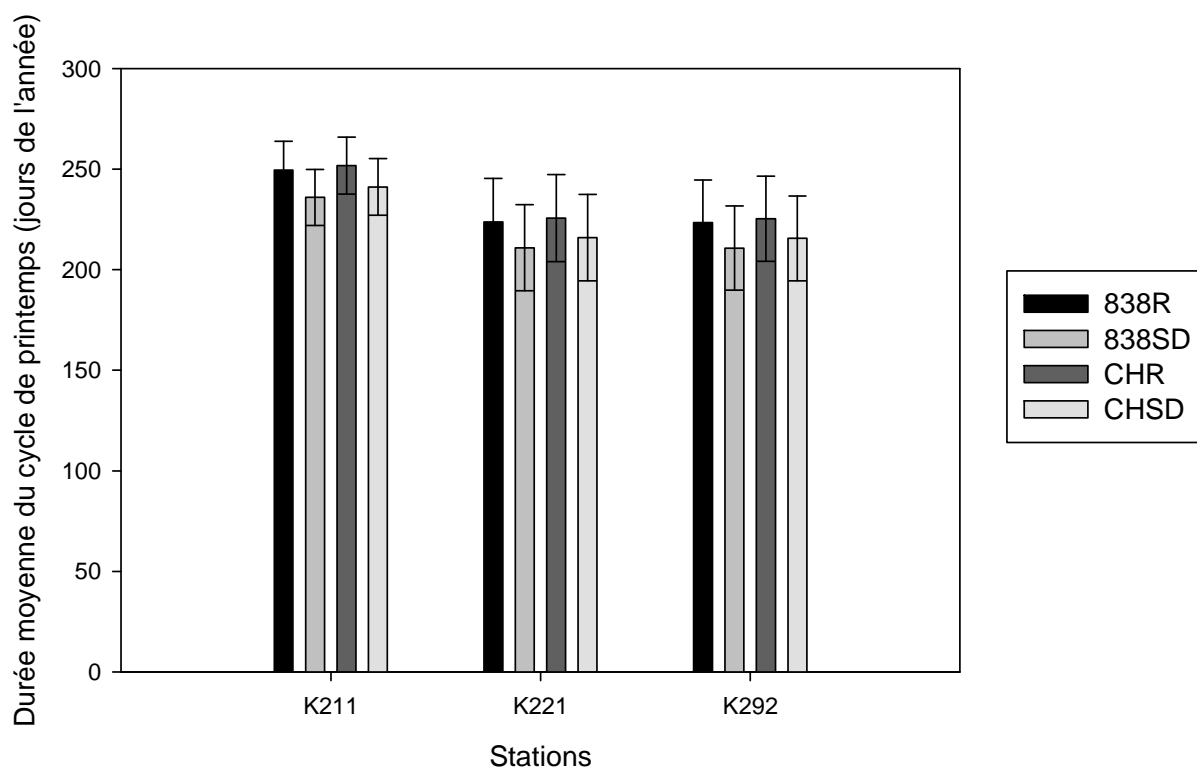


Figure 2 : Influence des stations, cultivars et méthodes de culture sur la durée moyenne du cycle de printemps à 400m d'altitude. Barres verticales : différents cultivars combinés avec une méthode de culture. 838 : cultivar Nhi uu 838, CH : cultivar Chem Huong, SD : semis direct et R : repiquage. Les écarts-types sont représentés au sommet des barres verticales.

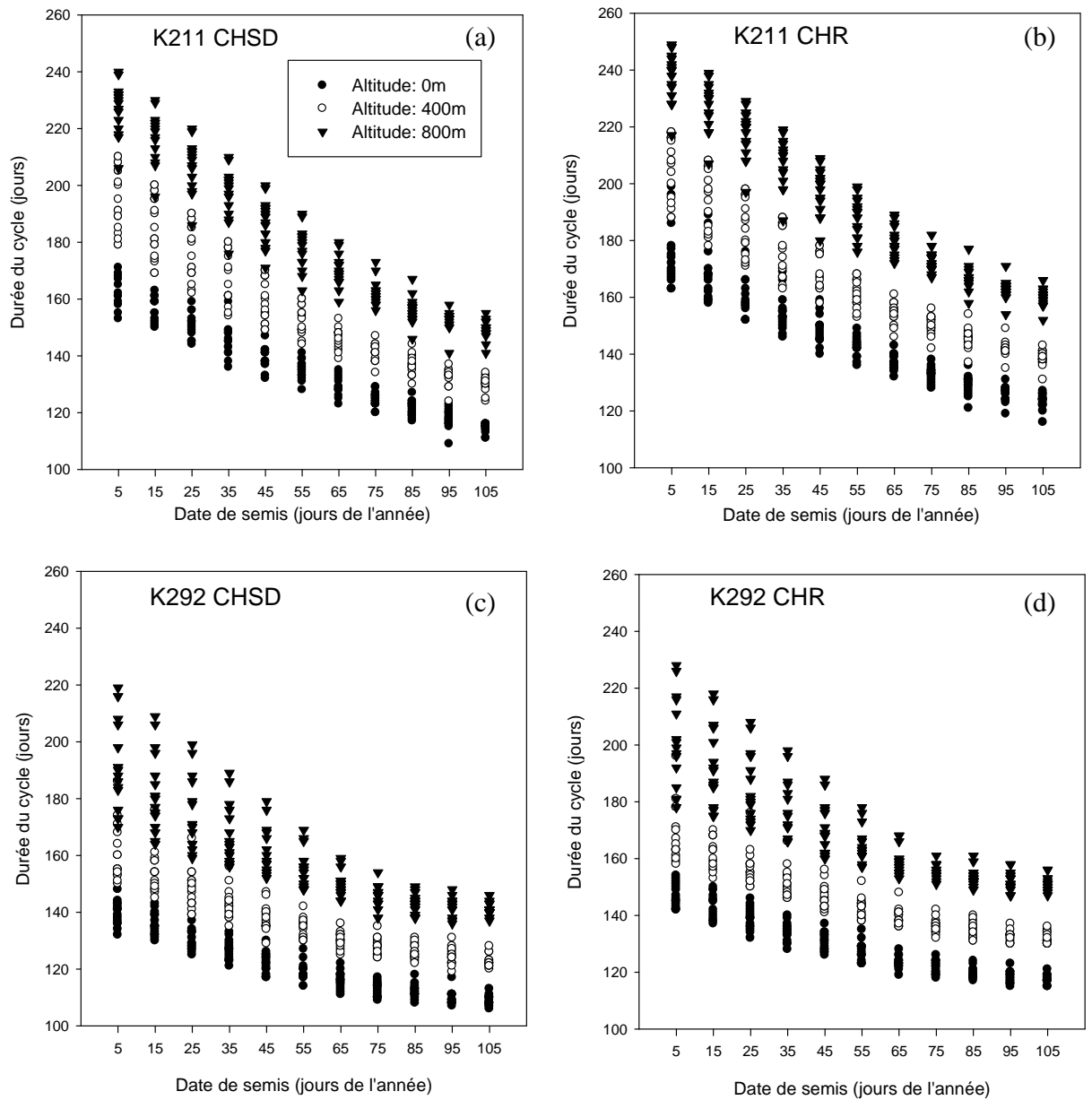


Figure 3 : Variabilité interannuelle sur 15 années sur la durée du cycle de printemps du cultivar Chem Huang à différentes altitudes.

(a) : station K211, semis direct, (b) : station K211, repiquage (c) station K292, semis direct et (d) : station K211, repiquage.

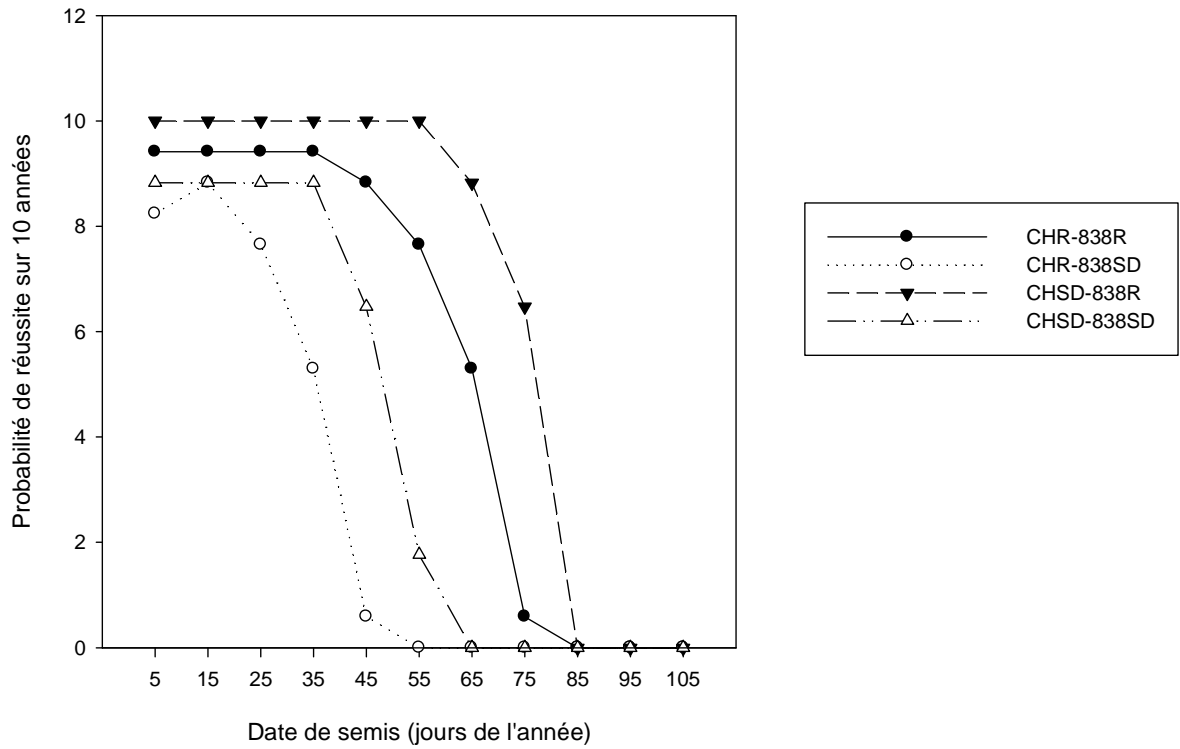


Figure 4: Comparaison des combinaisons possibles de méthodes de culture avec le cultivar de printemps et celui d'été pour la station K221 à 400m. CHSD : Chem Huong en semis direct, CHR : Chem Huong repiqué, 838SD : Nhi uu 838 en semi direct et 838R : Nhi uu 838 repiqué.

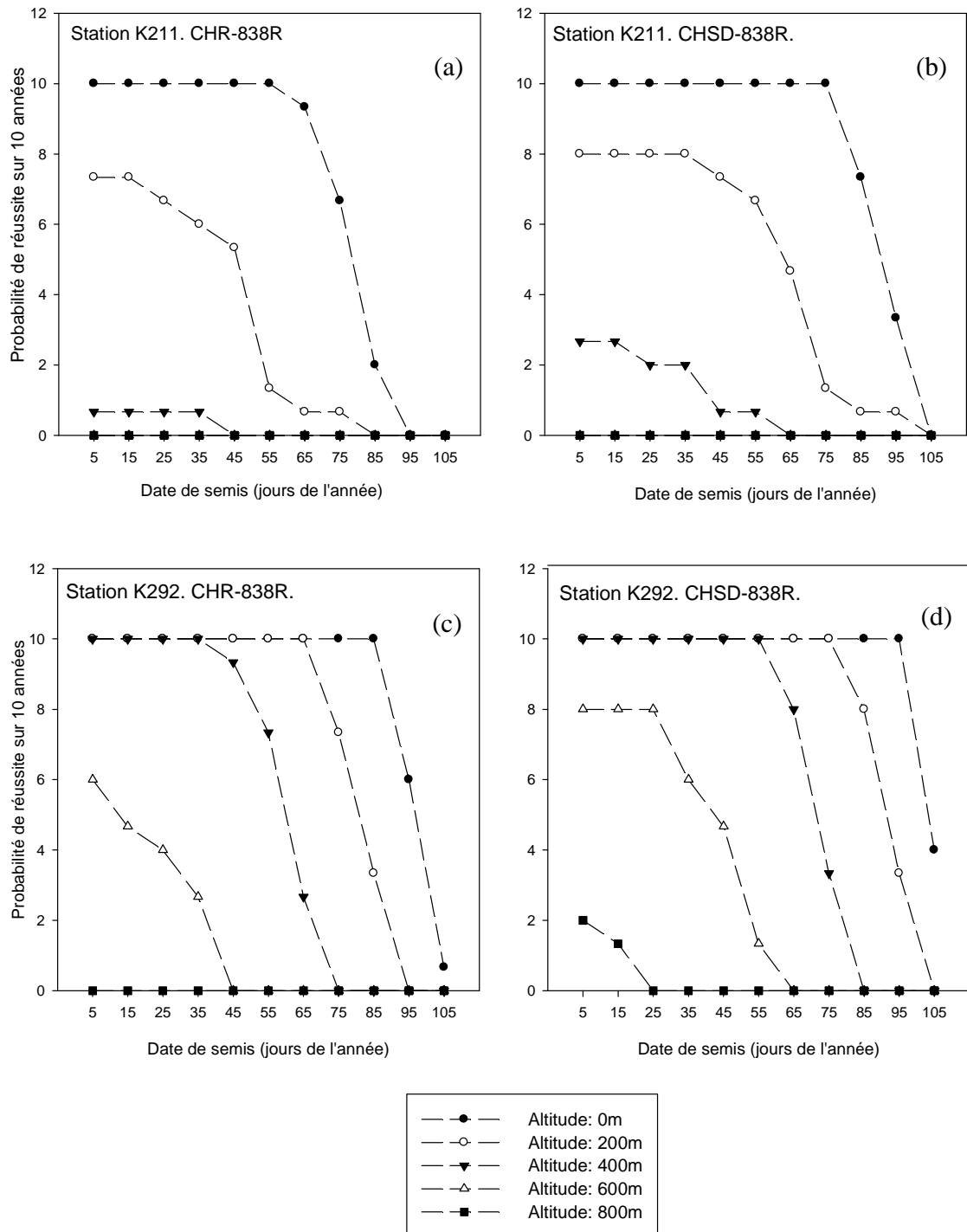


Figure 5 : Probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué pour différentes altitudes. (a) et (b) : station K292 pour les combinaisons CHSD-838R et CHSD-838R respectivement, (c) et (d) : station K211 pour les combinaisons CHSD-838R et CHSD-838R respectivement. CHSD : Chem Huong en semis direct, CHR : Chem Huong repiqué, 838SD : Nhi uu 838 en semi direct et 838R : Nhi uu 838 repiqué.

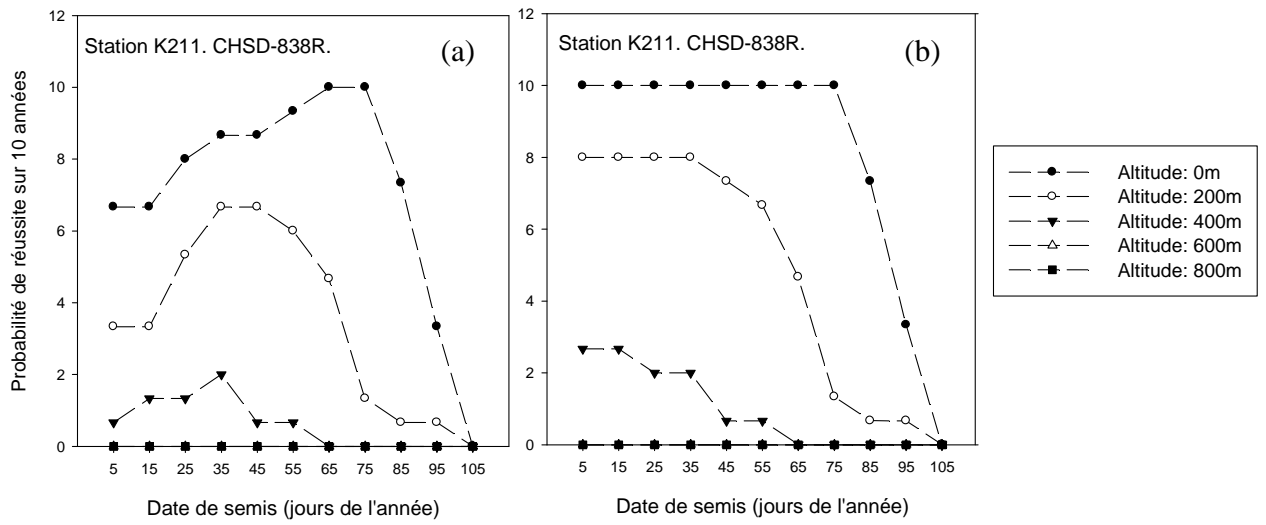


Figure 6 : Probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué en fonction de la pratique ou non du re-semis pour la station K211 et la combinaison CHSD-838R. (a) : cas où l'agriculteur ne ressème pas suite à la mort des plants de riz causées par le froid et l'illustration (b) : cas où l'agriculteur ressème.

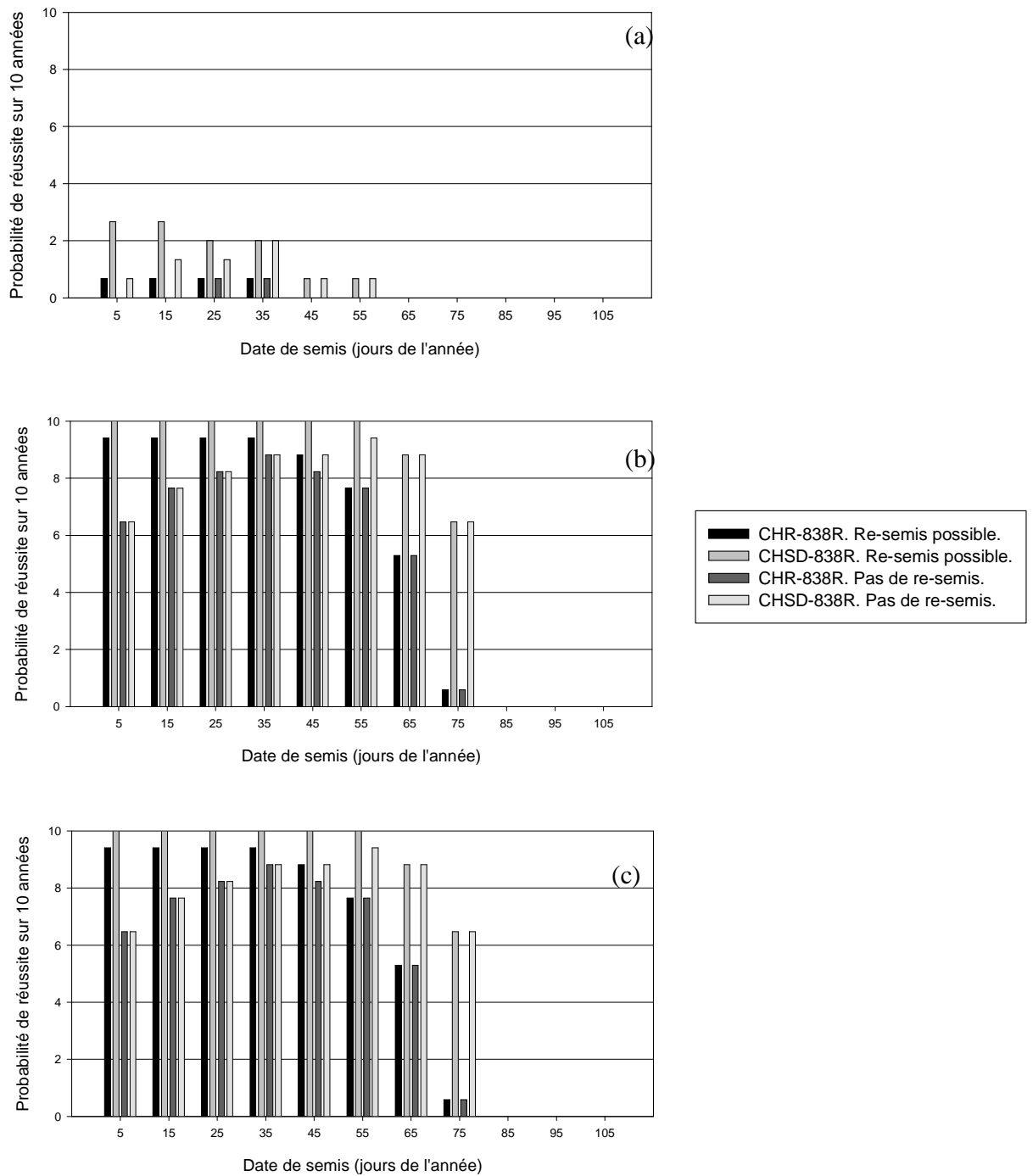


Figure 7 : Influence du re-semis et des méthodes de culture sur la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué à l'altitude de 400m. (a) station K211, (b) station K221 et (c) station K292. Les barres verticales : combinaison de méthode de culture (CHSD-838R ou CHR-838R) avec soit un re-semis possible soit pas de re-semis pour le cycle de printemps dans le cas où il y a mort des plants causée par le froid. CHSD : Chem Huong en semis direct, CHR : Chem Huong repiqué, 838SD : Nhi uu 838 en semi direct et 838R : Nhi uu 838 repiqué.

Tableau 4 : Intervalles de dates optimales de semis de printemps selon les stations, altitudes, et méthodes de culture. Les dates optimales sont définies comme les dates où la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué est maximale. Les dates en grisé sont des dates pour lesquelles la probabilité de réussite de l'enchaînement de deux cycles de cultures de riz irrigué est inférieure à 5 années/10.

Stations	Altitude (m)	Avec re-semis		Sans re-semis	
		CHSD-838R	CHR-838R	CHSD-838R	CHR-838R
K211	0	5-75	5-55	65-75	55-65
	400	5-15	5-35	35	25-35
	800				
K221	0	5-95	5-85	55-95	55-85
	400	5-55	5-35	55	35
	800	5	5	5	5
K292	0	5-95	5-85	5-95	5-85
	400	5-55	5-35	55	35
	800	5	5	5	5